

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS PRODUZIDOS POR DUAS JAZIDAS DA REGIÃO SUL DE SANTA CATARINA NA DOSAGEM MARSHALL E RESISTÊNCIA A TRAÇÃO

Fernando de Souza (1); Joe Arnaldo Villena Del Carpio (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) nando_dcricri@hotmail.com, (2) joevillena@gmail.com

RESUMO

Os agregados representam cerca de 95% do total em peso da mistura asfáltica, por isso, é importante que possuam propriedades mecânicas, físicas e químicas adequadas para garantir o correto desempenho das misturas asfálticas em campo, promovendo maior conforto aos usuários e evitar problemas como desagregação, quebra por fadiga e deformações permanentes, que são patologias que acontecem com frequência nas estradas brasileiras. Para analisar o desempenho de alguns agregados, utilizados na pavimentação da região sul de Santa Catarina foram realizados ensaios de caracterização físicos dos mesmos, produzidos por duas jazidas desta região que são de origem basáltica e britados. Assim, foram realizados a moldagem de corpos de prova utilizando a metodologia Marshall de granulometria, do tipo densa, para os valores médios da faixa 'C' do DEINFRA (Departamento Estadual de Infraestrutura). Os resultados referentes a estes ensaios realizados em laboratório, revelaram que ambos valores se enquadraram dentro das especificações. As diferenças entre eles, mostraram que dentre as particularidades apresentadas pelos agregados, foi observado que características físicas como a absorção, podem ter influenciado no consumo de ligante ótimo para uma mistura com 4% de volumes de vazios, assim como também foram observados, valores diferenciados para a Estabilidade Marshall, podendo ser atribuído a granulometria mais fina do material passante na peneira 200 que apresentou uma das jazidas, o que pode ter elevado a consistência do ligante, alterando suas propriedades e proporcionando um aumento na estabilidade da mistura asfáltica. Para outra característica mecânica analisada, a mesma mistura no ensaio de Resistência a Tração, apresentou valores médios inferiores em cerca de 10,6% em relação aos agregados produzidos pela outra jazida.

Palavras-Chave: Misturas asfálticas, características dos agregados, dosagem Marshall, resistência à tração.

1. INTRODUÇÃO

A mistura asfáltica é o material mais utilizado nos pavimentos flexíveis e tem a função de suportar as solicitações do tráfego dos veículos (CURTIS, 1999). Desagregação, deformações permanentes e desgaste são os maiores problemas encontrados atualmente nos pavimentos brasileiros, devido ao excesso de veículos e ao aumento das cargas por eixos dos caminhões segundo Gouveia e Fernandes Jr., 2002. Por isso se faz necessário o estudo do comportamento das misturas asfálticas e de seus componentes, para que se possa minimizar estes danos causados. Os agregados constituem cerca de 95% do total, em peso, da composição da mistura e características como forma, textura superficial e angularidade afetam predominantemente o comportamento do pavimento sendo necessário que os agregados possuam propriedades mecânicas, físicas e químicas adequadas para garantir o correto desempenho das misturas asfálticas em campo.

Fatores de origem como a dureza, abrasão e resistência, são responsáveis em atribuir propriedades físicas aos agregados. A qualidade, variabilidade e formas adequadas dos agregados para o uso na pavimentação, são características obtidas através do modo de produção. Estas características são influenciadas pelas etapas de decapagem, retirando materiais que contaminam o produto final, e pela etapa de britagem, onde os tipos e ajustes nos britadores empregados na produção atribuem aspectos relacionados a forma do agregado. (ZANELLA, 2013).

Segundo Bernucci *et. al.* (2008), um agregado com formas mais cúbicas e angulares apresentam melhor estabilidade para as misturas por promoverem melhor intertravamento dos grãos, já os de arestas mais arredondadas promovem menos estabilidade, por ter a tendência de deslizarem entre si. As formas dos agregados podem ainda causar problemas na mistura asfáltica como a entrada de umidade, alteração da granulometria e a perda na resistência mecânica. Para Gouveia (2006) estes fatores são atribuídos aos agregados com formas planas e alongadas que são suscetíveis à quebra durante a compactação. Com isso acabam rompendo a película do ligante e produzem a perda da adesividade entre o asfalto e o agregado, podendo ainda, diminuir a trabalhabilidade da mistura dificultando a compactação e ainda consumir maior teor de ligante comparadas com as formas cúbicas, por

apresentarem superfícies maiores a serem envolvidas. Outra característica do agregado que interfere na composição da mistura citado por Gouveia (2006), é a taxa de absorção, que pode influenciar na adição de ligante asfáltico e está diretamente ligado com a porosidade o que influencia também, nos parâmetros de projeto da mistura como volume de vazios (VV), volume de agregado mineral (VAM) e relação betume-vazios (RBV). Para Pazos *et. al* (2015), os agregados ideais para uma mistura asfáltica, devem apresentar boas características como dureza, resistência, durabilidade, granulometria apropriada, forma cúbica e baixa porosidade que são obtidas através de ensaios padronizados em laboratórios.

Muitos problemas encontrados nos asfaltos podem estar ligados as características dos agregados. As fissuras causadas por esforços de fadiga e as deformações permanentes são normalmente associados aos ligantes asfálticos e a matriz fina dos agregados, o fíler (material com 65% de partículas passante pela peneira de 0,075 mm de malha quadrada), exerce grande importância nas propriedades das misturas asfálticas, pois preenchem os vazios das partículas maiores e contribuem como parte ativa do masticue (ligante asfáltico, fíler e ar), influenciando na lubrificação das partículas maiores, no volume de vazios, nas características de compactação e no teor de ligante ótimo. A rigidez do masticue, influencia nas tensões desenvolvidas e em defeitos que ocorrem nos pavimentos como a perda da resistência a fadiga a temperaturas intermediárias, deformações permanentes a altas temperaturas e ao trincamento a baixas temperaturas. Estas características de rigidez do masticue estão associadas ao fíler que proporciona um aumento da viscosidade do ligante, aumentando a estabilidade das misturas asfálticas e alterando suas propriedades. (CRAUS *et. al.* 1978). Este aumento da viscosidade do ligante ocorre devido a granulometria do fíler, sendo que as partículas maiores que a do ligante asfáltico (cerca de 20 μm) irão compor os agregados minerais preenchendo os vazios e aumentando o contato entre eles, enquanto que as partículas menores ficam suspensas e se misturam ao ligante asfáltico aumentando a sua consistência e a cimentação das partículas maiores. (BARDINI, 2013).

Como existem vários fatores ligados as propriedades dos agregados, houve vários estudos que envolvem a influência de suas características, em uma delas realizada por Cavalcanti *et. al.* (2014), analisando a influência da forma dos agregados em

uma mistura asfáltica padrão com mesmo teor de ligante, utilizou-se agregados de duas jazidas diferentes localizadas no Rio Grande do Sul, onde verificou-se diferenças em relação ao ensaio de resistência a tração por compressão diametral e nas características de absorção dos agregados.

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

Avaliar a influência das características físicas dos agregados de duas jazidas na dosagem Marshall e na resistência à tração de misturas asfálticas.

2.2 Específicos

- Realizar a caracterização física dos agregados das duas jazidas;
- Dosar duas misturas asfálticas, segundo a metodologia Marshall, uma para cada jazida estudada.
- Determinar a resistência à tração das duas misturas asfálticas dosadas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Agregados

Para a pesquisa foram utilizadas duas jazidas: a primeira, de propriedade da empresa Cedro, localizada no município de Maracajá-SC e a segunda, de propriedade da empresa Confer, localizada no município de Siderópolis-SC.

Os agregados da jazida Cedro são de origem basáltica e provem da britagem de rochas maiores. As frações granulométricas produzidas durante a britagem, e que foram utilizadas na pesquisa são: brita $\frac{3}{4}$ " (Figura 1a), pedrisco (Figura 1b) e pó de pedra (Figura 1c).

Os agregados da jazida Confer são também de origem basáltica e obtidos através do processo de britagem. As frações granulométricas produzidas durante a britagem, e que foram utilizadas na pesquisa são: brita $\frac{3}{4}$ " (Figura 2a), pedrisco (Figura 2b) e pó de pedra (Figura 2c).

Figura 1 - Agregados da Jazida Cedro: a) Brita $\frac{3}{4}$ ". b) Pedrisco. c) Pó de pedra.



(a)

(b)

(c)

Fonte: Fernando de Souza (2015)

Figura 2 - Agregados da Jazida Confer: a) Brita $\frac{3}{4}$ ". b) Pedrisco. c) Pó de pedra



(a)

(b)

(c)

Fonte: Fernando de Souza (2015)

3.1.2. Ligante asfáltico

O ligante utilizado para as misturas asfálticas foi o Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) 50/70 (Figura 3). O ligante é proveniente da Refinaria Presidente Getúlio Vargas (Repar). Adicionalmente, o ligante apresenta na sua composição 0,07% de aditivo melhorador de adesividade.

Figura 3 - Ligante CAP 50/70 utilizado

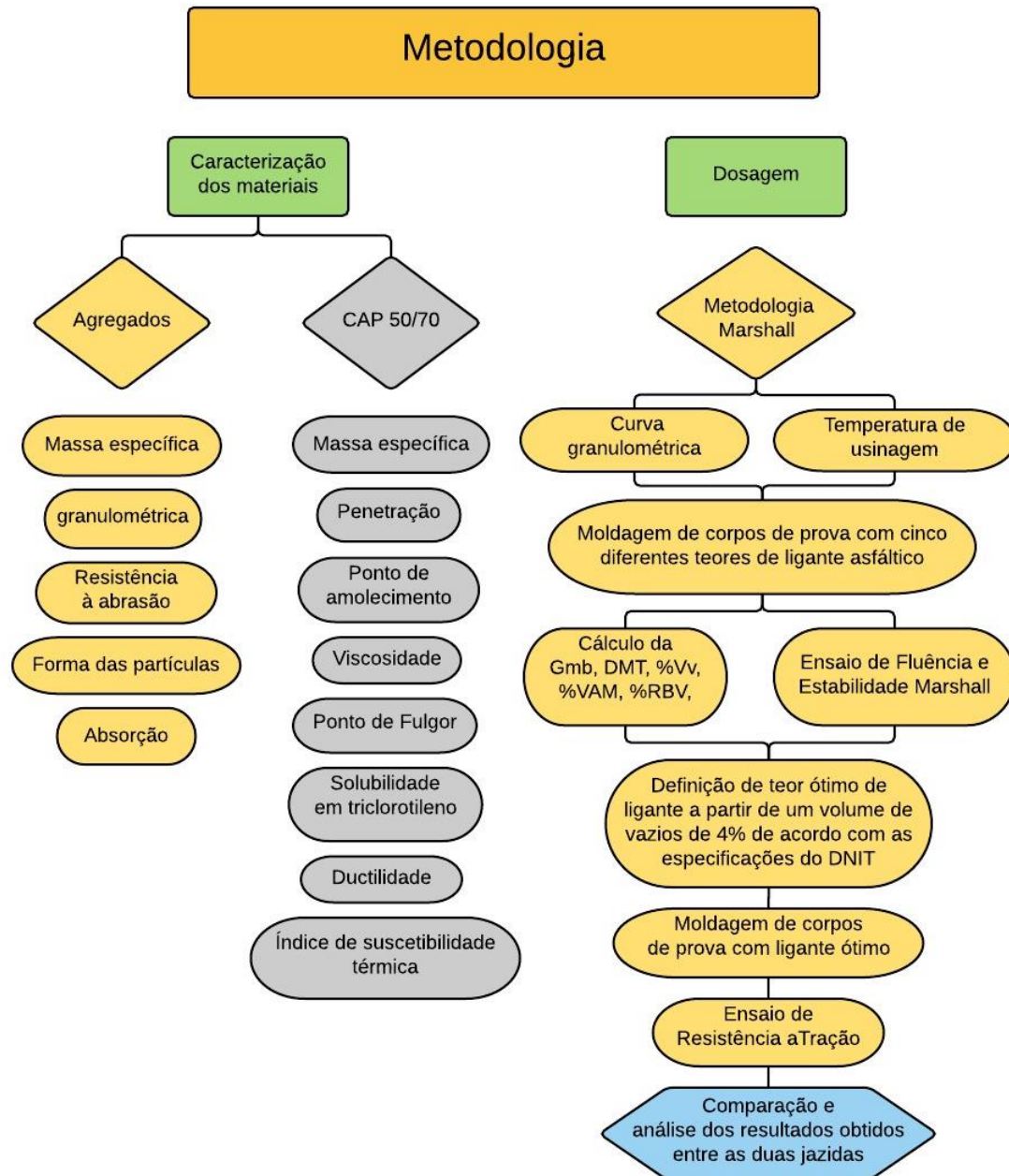


Fonte: Fernando de Souza (2015)

3.2 MÉTODOS

A metodologia utilizada é baseada na caracterização física dos agregados das Jazidas Cedro e Confer e do ligante asfáltico. Posteriormente, foi realizada a mesma composição granulométrica de duas misturas asfálticas para ambas jazidas avaliadas, nas quais atendiam os valores médios da Faixa “C” do Departamento Estadual de Infraestrutura (DEINFRA). Definidas as granulometrias, foi realizada a dosagem das misturas asfálticas segundo a metodologia Marshall. A continuação, foram moldados 5 corpos de prova de mistura asfáltica com teor de ligante ótimo para um volume de vazios de 4% para as ambas jazidas. Finalmente, ambas as misturas foram ensaiadas à tração e os seus resultados comparados. A metodologia adotada na pesquisa é mostrada na Figura 4.

Figura 4 – Fluxograma da metodologia.



Fonte: Fernando de Souza (2015)

3.2.1 Caracterização dos materiais

A caracterização dos agregados utilizados na pesquisa foi realizada no Laboratório de Mecânica dos Solos e Asfalto (LMSA), do Instituto de Engenharia e Tecnologia (IDT), da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). Os valores da caracterização do ligante asfáltico foram obtidos através dos dados da refinaria a qual foi produzido.

3.2.1.1. Ligante asfáltico

Os ensaios de caracterização do ligante asfáltico foram:

- Penetração (NBR 6576/2007);
- Viscosidade Saybolt-Furol (NBR 14950/2003);
- Viscosidade Brookfield (NBR 15184/2005);
- Ponto de amolecimento (NBR 6560/2008);
- Ductilidade (NBR 6293/2001);
- Índice de suscetibilidade térmica (DNER-ME 204/95);
- Solubilidade em tricloroetileno (NBR 14855/2002);
- Ponto de fulgor (NBR 11341/2014).

3.2.1.2 Agregados

Para caracterizar os agregados minerais foram realizados os seguintes ensaios físicos:

- Ensaio granulométrica (DNER- ME 083/98);
- Resistência à abrasão Los Angeles (DNER-ME 035/98);
- Forma das partículas (DNER-ME 6954/89 e 7809/08);
- Ensaio de absorção (DNER-ME 081/98);
- Massa específica do agregado graúdo (DNER-ME 081/98);
- Massa específica do agregado miúdo (DNER 084/95);
- Massa específica do material finamente pulverizados (DNER-ME 085/94);

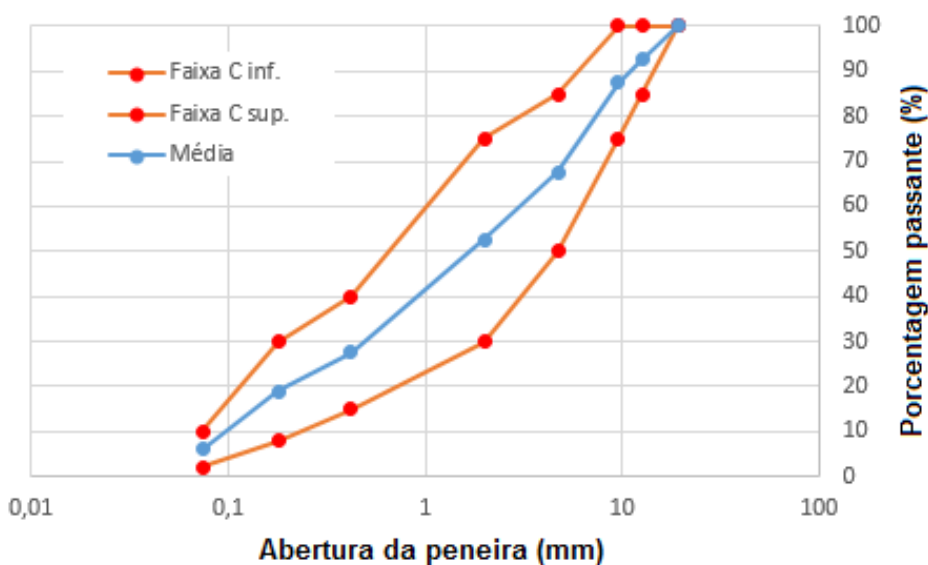
- Ensaio de granulometria a laser.

3.2.2 DOSAGEM DAS MISTURAS ASFÁLTICAS

Composição granulométrica

Foi utilizada a mesma granulometria da mistura asfáltica para ambas jazidas, adotando os valores médios da Faixa “C” do DEINFRA, de modo que este fator não interferisse nos resultados obtidos. A curva granulométrica resultante é mostrada na Figura 5.

Figura 5 - Curva granulométrica Faixa "C" do DEINFRA.



Fonte: Fernando de Souza (2015)

Dosagem das misturas asfálticas

Foi realizada a dosagem de misturas asfálticas, para cada uma das Jazidas estudadas, segundo a Metodologia de Dosagem Marshall (DNER-ME 043/95). Após encontrados os valores das propriedades volumétricas, foram verificadas as condições para as misturas asfálticas segundo as especificações do DNIT-ES 031/2004, como mostra a tabela 1.

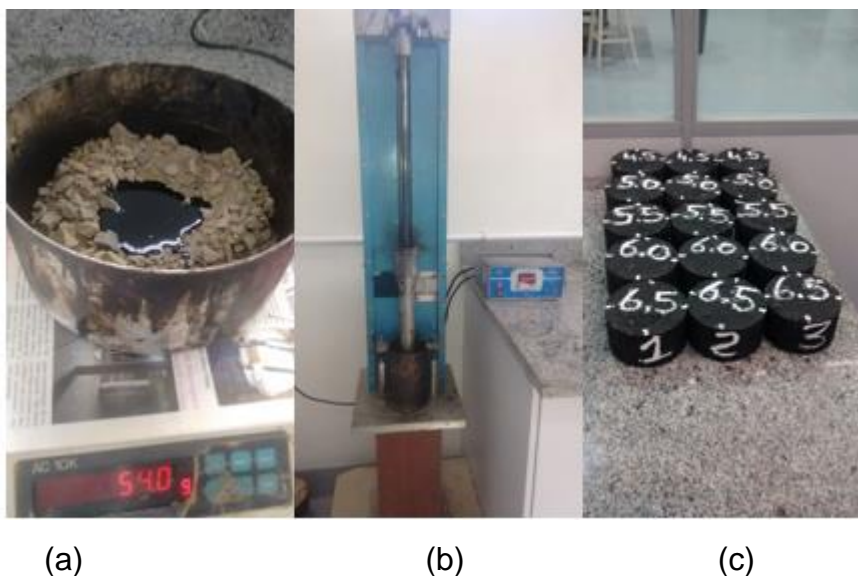
Tabela 1 - Requisitos de dosagem de mistura asfáltica do DNIT-ES 031/2004.

Características	Camada de rolamento	Camada de ligação
Porcentagem de volume de vazios (Vv), %	3 - 5	4 - 6
Relação betume/vazios (RBV)	75 - 82	65 - 72
Estabilidade mín, kgf (75 golpes)	500	500
Resistência à Tração por compressão diametral estática (RT) a 25°C, mínima, MPa	0,65	0,65

Fonte: adaptado de Bernucci *et al.* (2008).

A figura 6 mostra algumas etapas da moldagem dos corpos de prova através da metodologia marshall e a figura 7, o de ensaio de estabilidade Marshall realizado em um dos corpos de prova.

Figura 6 - Moldagem de corpos de prova a partir da metodologia Marshall. (a) Adição de teor de ligante para uma mistura com 1200g (b) Compactação com compactador Marshall (c) Corpos de prova com diferentes porcentagens de ligante.



Fonte: Fernando de Souza (2015)

Figura 7 - Ensaio de estabilidade. (a) Corpos de prova em banho-maria acondicionados a temperatura de ensaio. (b) Realização do ensaio de estabilidade Marshall em um dos corpos de prova.



(a)



(b)

Fonte: Fernando de Souza (2015)

Ensaio de Resistência a Tração (RT)

Após a definição do teor de ligante ótimo para as misturas asfálticas, foram moldados 5 corpos de prova e realizado o ensaio de Resistência a Tração (RT), seguindo a norma do DNIT (136/2010-ME). A figura 8 mostra a realização do ensaio em um dos corpos de prova.

Figura 8 - Ensaio de Resistência a Tração (RT)



Fonte: Fernando de Souza (2015)

4 . RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

4.1.1. Ligante asfáltico

A densidade real do ligante asfáltico conforme a NBR- 6296/2004, revelou um valor de 1,007 g/cm³. As especificações do CAP utilizado na pesquisa estão mostradas na Tabela 2 se enquadrando nas especificações brasileiras.

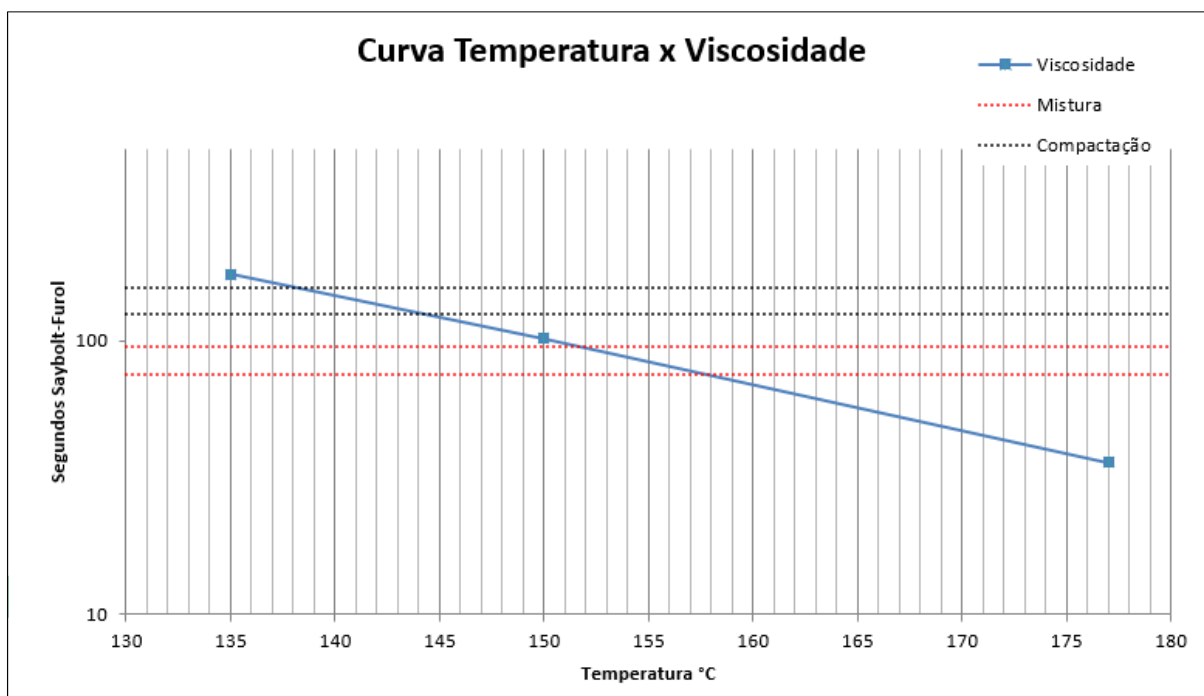
Tabela 2 - Especificações do Cimento Asfáltico de petróleo - CAP 50/70

Características	Unidades	Especificação	Resultados	Método
Penetração (100g, 5s, 25°C), mín.	0,1mm	50 a 70	59	NBR 6576
Ponto de amolecimento	°C	46	47,5	NBR 6560
Viscosidade Saybolt-Furol				
a 135°C, mín		141 mín.	158,5	
a 150 °C, mín	S	50	84,5	NBR 14950
a 177°C, mín		30	37,2	
Viscosidade Brookfield				
a 135°C, mín. SP 21, 20 rpm, mín		274	305	
a 150 °C, mín.	cp	112	159	NBR 15184
a 177°C, SP 21		57	68	
Ductilidade a 25°C, mín	Cm	600	>100	NBR 6293
Índice de Suscetibilidade Térmica		(-1,5) a (+0,7)	-1,5	
Ponto de Fulgor, mín.	°C	235	>300	NBR 11341
Solubilidade em tricloroetileno, mín.	% massa	99,5	99,9	NBR 14855

Fonte: REPAR/OT/QP - PETROBRAS (2014).

A partir dos dados da viscosidade do ligante asfáltico foram determinadas a curva de Temperatura-viscosidade para a moldagem dos corpos de prova utilizados na pesquisa como mostrados na figura 9. Os valores obtidos estão representados na tabela 3.

Figura 9 - Curva temperatura x Viscosidade



Fonte: Fernando de Souza (2015)

Tabela 3 - Temperatura de usinagem e compactação das misturas asfálticas

Temperaturas	Ótima	Faixa de Trabalho	
Aquecimento do ligante (°C)	155,0	152	158
Aquecimento dos agregados (°C)	165,0	162,0	168,0
Compactação da mistura (°C)	141,0	138,0	144,0

Fonte: Fernando de Souza (2015)

4.1.2 Caracterização dos agregados

A tabela 4 mostra os resultados obtidos do ensaio de granulometria dos agregados das jazidas Cedro e Confer. A granulometria do material passante na peneira nº 200 mostrados na tabela 5, foi realizada através do ensaio de granulometria a laser.

Tabela 4 - Granulometria dos agregados das jazidas.

Jazida		Cedro			Confer		
		Porcentagem passante acumulada					
Peneira	Abertura (mm)	Brita 3/4"	Pedrisco	Pó de pedra	Brita 3/4"	Pedrisco	Pó de pedra
3/4	19,1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1/2	12,7	24,2	100,0	100,0	60,3	100,0	100,0
3/8	9,5	2,6	100,0	100,0	27,8	99,9	99,9
n 4	4,75	0,4	25,9	98,5	2,2	70,7	99,8
n 10	2	0,4	1,4	66,4	0,7	34,9	62,3
n 40	0,42	0,4	1,2	26,2	0,7	14,8	22,9
n 80	0,18	0,4	1,2	15,9	0,6	7,7	12,7
n 200	0,074	0,3	0,8	4,7	0,5	3,5	6,2

Fonte: Fernando de Souza (2015)

Tabela 5 - Granulometria do material passante na peneira 200.

Jazida	Cedro	Confer
Fundo da peneira 200	Diâmetro (µm)	Diâmetro (µm)
Diâmetro a 10%	2,58	2,46
Diâmetro a 50%	25,01	19,48
Diâmetro a 90%	60,00	51,95
Diâmetro médio	28,51	23,93

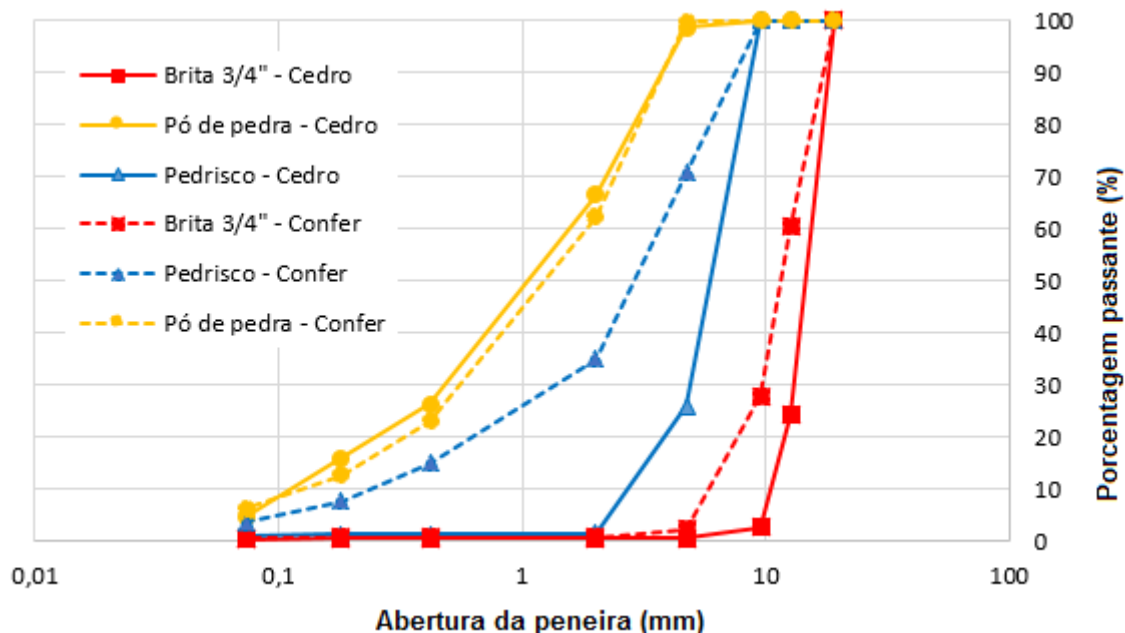
Fonte: Fernando de Souza (2015)

Através da análise granulométrica observou-se nas porcentagens passantes acumulada, que os agregados com exceção ao pó de pedra, apresentaram porcentagens passantes maiores para os produzidos pela jazida Confer, indicando um tamanho menor nos seus agregados em comparações com os produzidos pela jazida Cedro. O pó de pedra passante na peneira 200, utilizado pelas duas jazidas, também apresentou valores inferiores em relação ao tamanho de suas partículas para a mesma jazida, o que na teoria produziria misturas asfálticas com um possível aumento na resistência a deformações permanentes e melhor durabilidade a maiores períodos de imersão a água.

As diferenças encontradas na granulometria podem estar associadas a forma de produção e ajustes diferentes nos britadores que produzem o agregado.

A figura 10 representa as curvas granulométricas dos tipos de agregados das jazidas Cedro e Confer.

Figura 10 - Curva granulométrica dos agregados da jazida Cedro.



Fonte: Fernando de Souza (2015)

Os valores das caracterizações físicas dos agregados referentes a abrasão Los Angeles, absorção e massas específicas estão representados na tabela 6.

Tabela 6 - Caracterização física dos agregados.

Pedreira	Cedro	Confer
Ensaio de Abrasão Los Angeles, desgaste em g	10,170	9,050
Absorção, %	0,930	0,840
Agregado graúdo - DNER 081/98		
Densidade aparente, g/cm ³	2,916	2,935
Densidade real, g/cm ³	2,997	3,010
Agregado fino (DNER 093/94)		
Densidade real a t de ensaio, g/cm ³	2,973	3,028
Densidade real a 20 °C, g/cm ³	2,968	3,025
Material passante pela peneira 200 (DNER 085/94)		
Massa específica real, g/cm ³	2,985	2,844

Fonte: Fernando de Souza (2015)

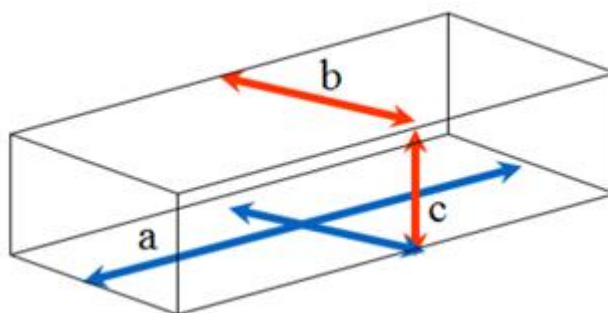
Os ensaios físicos realizados para os agregados graúdo e fino, revelaram densidades muito próximas para os produzidos por ambas jazidas, com porcentagens ligeiramente maiores para a jazida Confer, já para os agregados passantes na peneira 200, estes valores foram pouco menores para a jazida Cedro. Estas diferenças encontradas nesta propriedade, influenciam nos cálculos das propriedades volumétricas das misturas, e estão relacionadas com a características das rochas extraídas para a produção dos agregados.

Os ensaios de abrasão Los Angeles realizados com os agregados graúdos, mostraram-se satisfatórios para ambas jazidas, se enquadrando nas especificações do DNER ME 035 que limita uma porcentagem de perda de $\leq 50\%$. Os valores obtidos revelaram uma diferença de cerca de 11% a mais na perda de material pela jazida Cedro. Este ensaio permite avaliar uma simulação a resistência ao desgaste e quebras que podem ocorrer durante o processo de produção e compactação da mistura asfáltica em campo, podendo trazer assim, problemas como a alteração da granulometria e perda na resistência mecânica.

Para o ensaio de absorção notou-se haver também uma pequena variação, a jazida Cedro apresentou uma taxa de 9,7 % a mais, comparadas com a jazida Confer, fator este, que pode representar um pequeno aumento no consumo de ligante da mistura asfáltica com os agregados produzidos por esta jazida.

Para os valores obtidos no ensaio de índice de forma para os agregados graúdos, pelas Normas NBR 7809 e NBR 6954, foram seguidos os critérios de avaliações expostos nas figuras 11 e na tabela 7.

Figura 11 - direções das dimensões do agregado.



Fonte: Bernucci *et al.* (2008).

Tabela 7 - Classificação da Forma do agregado.

Média das Relações b/a e c/b	Classificação da Forma
$b/a > 0,5$ e $c/b > 0,5$	Cúbica
$b/a < 0,5$ e $c/b > 0,5$	Alongada
$b/a > 0,5$ e $c/b < 0,5$	Lamelar
$b/a < 0,5$ e $c/b < 0,5$	Alongada-lamelar

Fonte: Bernucci *et al.* (2008).

Tabela 8 - Índice de forma dos agregados graúdos

Média das relações	Cedro	Confer
a/c	2,11	2,05
b/a	0,76	0,77
c/b	0,68	0,70
Classificação	Cúbica	Cúbica

Fonte: Fernando de Souza (2015)

Diante dos valores foi constatado que ambos agregados graúdos apresentaram forma cúbica que é a mais recomendável para a pavimentação. Assim, alguns fatores como o consumo de ligante e aumento da resistência podem não serem associados a esta característica dos agregados.

Dosagem Marshall

Os ensaios realizados através da dosagem Marshall para determinar o teor de ligante ótimo das jazidas Cedro e Confer estão representados na tabela 9

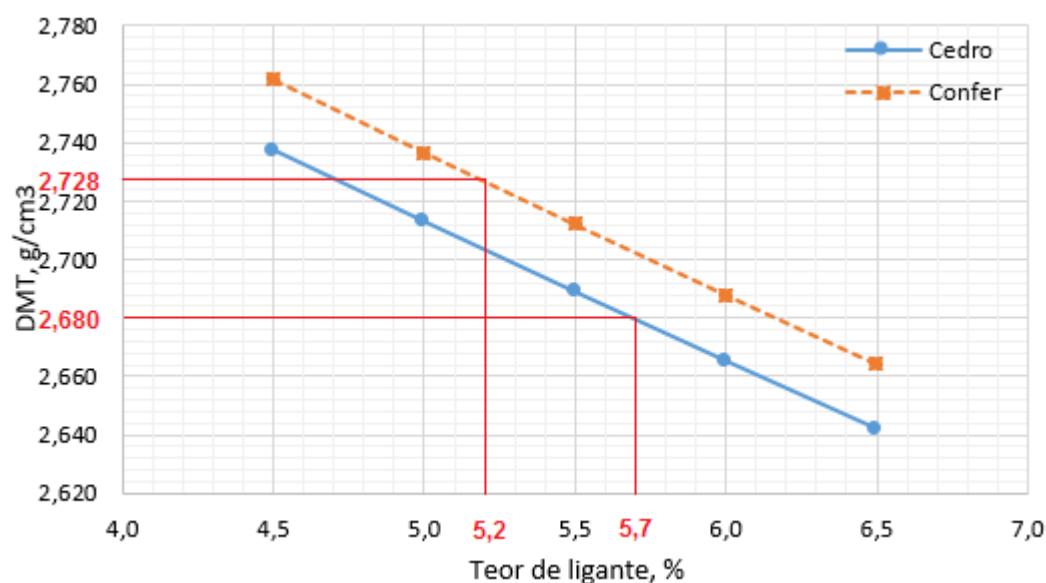
Tabela 9 - Resumo dos ensaios de dosagem Marshall.

Jazida	Teor de ligante	Gmb, g/cm ³	DMT, g/cm ³	Vv, %	VAM, %	RBV, %	Estabilidade, kg
Cedro	4,5	2,550	2,740	7,02	18,40	61,84	1993
	5,0	2,560	2,710	5,45	18,19	70,04	1879
	5,5	2,570	2,690	4,41	18,45	76,11	1779
	6,0	2,569	2,665	3,59	18,91	80,99	1876
	6,5	2,556	2,642	3,25	16,48	80,29	1502
Confer	4,5	2,550	2,760	7,54	18,95	60,28	2536
	5,0	2,600	2,740	4,91	17,83	72,49	2353
	5,5	2,620	2,710	3,39	17,70	80,91	1736
	6,0	2,611	2,688	2,86	18,42	84,50	1320
	6,5	2,605	2,664	2,23	19,05	88,31	875
Especificação				3-5	16	75-82	500

Fonte: Fernando de Souza (2015)

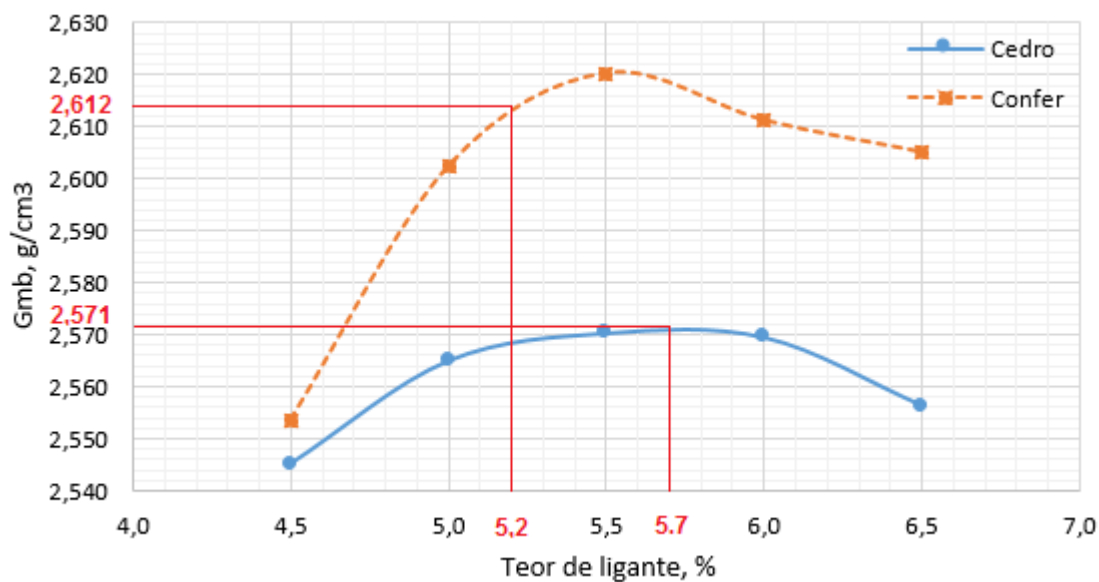
As curvas obtidas na dosagem Marshall para a determinação do teor de ligante ótimo de ambas jazidas, estão mostradas entre as figuras 12 e 17.

Figura 12 - Densidade máxima teórica x Teor de Ligante asfáltico



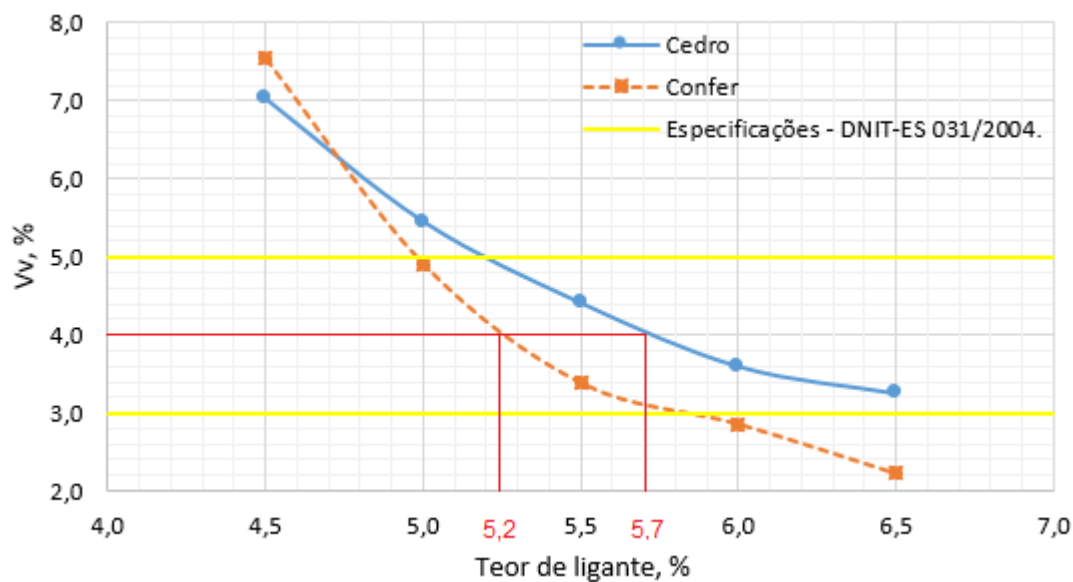
Fonte: Fernando de Souza (2015)

Figura 13 - Massa específica aparente x Teor de ligante asfáltico



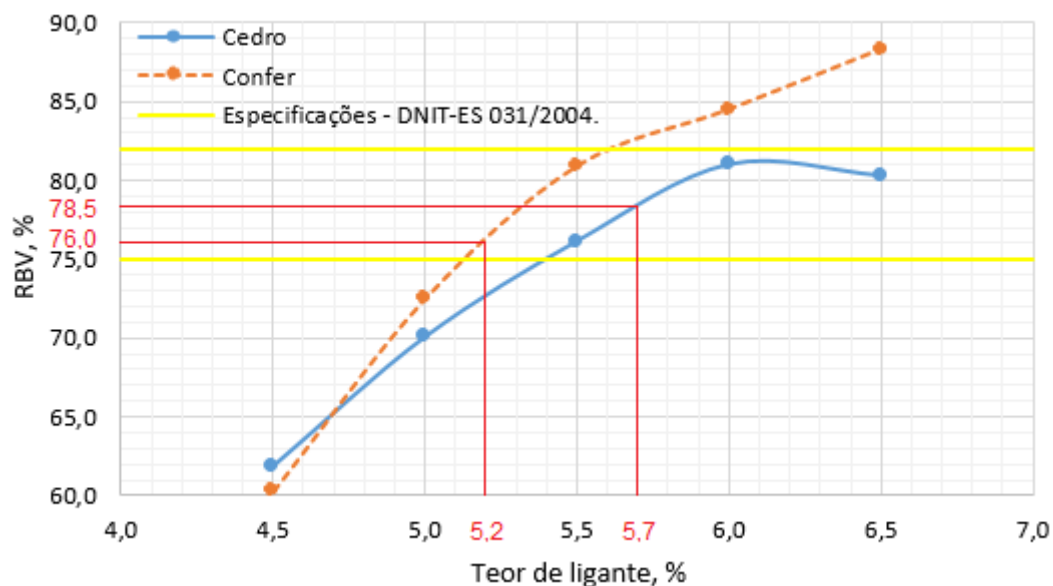
Fonte: Fernando de Souza (2015)

Figura 14 - Volume de vazios x Teor de ligante asfáltico



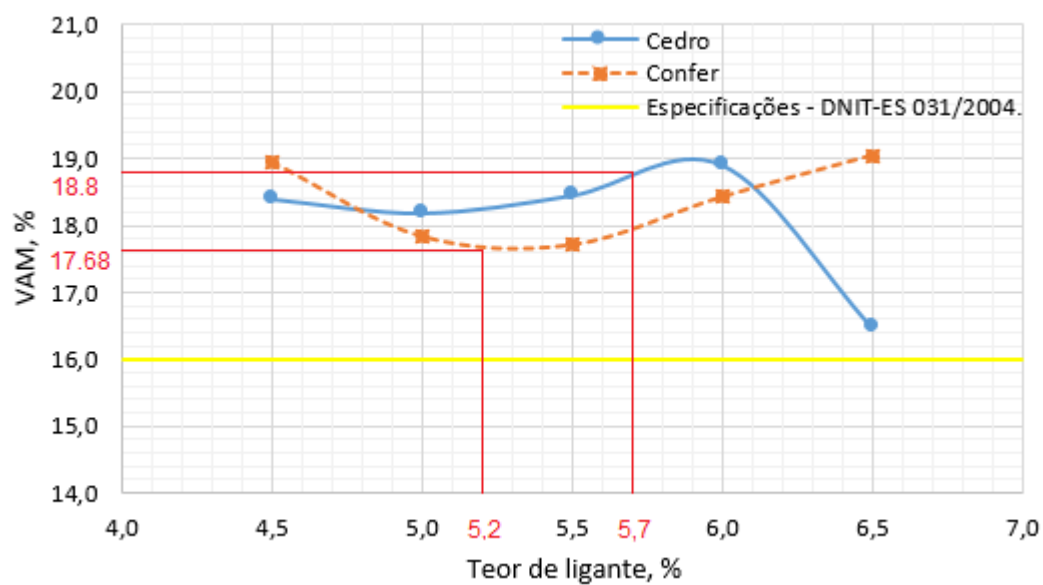
Fonte: Fernando de Souza (2015)

Figura 15 - Relação betume Vazios x Teor de ligante asfáltico



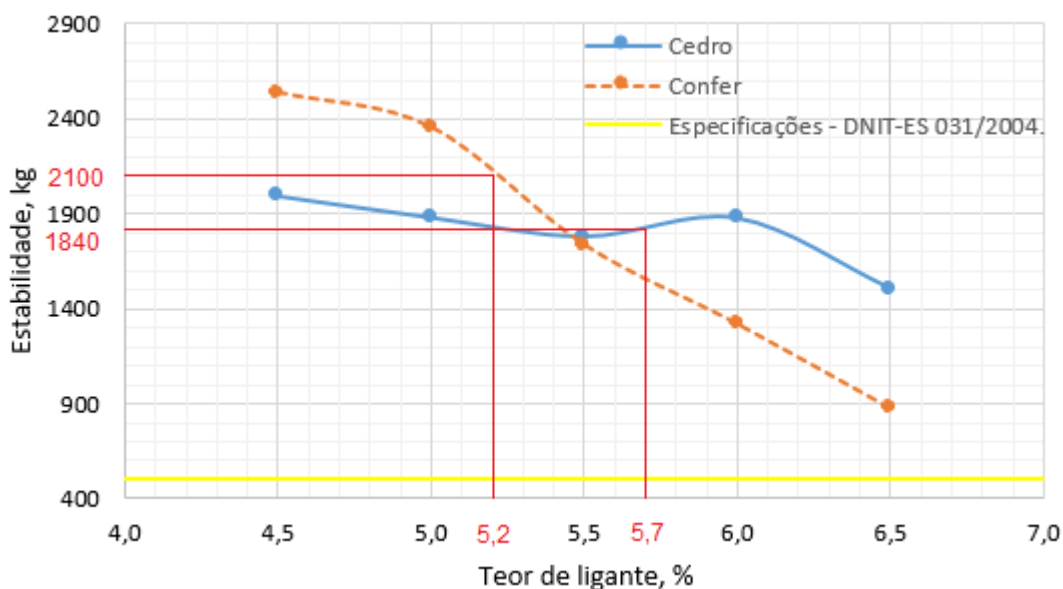
Fonte: Fernando de Souza (2015)

Figura 16 - Vazios de agregado mineral x Teor de ligante asfáltico



Fonte: Fernando de Souza (2015)

Figura 17 - Estabilidade x Teor de ligante asfáltico



Fonte: Fernando de Souza (2015)

De acordo com a dosagem Marshall moldadas com diferentes teores de ligante, a curva que representa o volume de vazios x teor de ligante, revelam um teor de ligante de 5,7% para os agregados da jazida Cedro e de 5,2% para a jazida Confer, para um VV de 4%. Foram verificados outros fatores como o RBV, VAM e Estabilidade de acordo com suas respectivas curvas de dosagem, se os mesmos atendiam as especificações do DNIT 031/2004. Os resultados mostraram um consumo menor de ligante asfáltico pela jazida Confer. Essa diferença encontrada, pode estar associada ao fato que as taxas de absorção apresentadas nos ensaios de caracterização dos agregados da jazida Cedro, apresentaram valores acima dos obtidos com a jazida Confer representando cerca de 9,7% ao serem comparadas. Outro fator que pode ter influenciado o consumo de ligante asfáltico, é a porcentagem de VAM da jazida Confer, ter apresentado valores inferiores para um mesmo volume de vazios, consequentemente diminuindo o seu consumo.

Resistência a tração por compressão diametral

Após a definição do teor de ligante ótimo para as duas jazidas, foram moldados cinco corpos de prova para cada jazida que foram utilizados para a realização do

ensaio de Resistência a Tração (RT). A tabela 11 apresenta os resultados obtidos para cada corpo de prova, a tabela 12 exibe um resumo geral dos dados para os teores ótimos de ligante para cada jazida.

Tabela 10 - Resultados obtidos de Resistência a Tração por compressão diametral através da dosagem Marshall para o teor de ligante ótimo das duas jazidas.

Jazida		Cedro		Confer	
CP	Vv, %	RT (MPa)	Vv, %	RT (MPa)	
1	3,78	1,67	4,28	1,62	
2	3,83	1,77	4,11	1,40	
3	3,81	1,74	3,48	1,56	
4	3,57	1,63	3,42	1,44	
5	3,60	1,66	3,57	1,55	
Média	3,72	1,69	3,77	1,51	

Fonte: Fernando de Souza (2015)

Tabela 11 - Resumo geral dos resultados e composições obtidos na dosagem Marshall com teor de ligante ótimo.

Jazidas	Cedro	Confer
Porcentagem de agregado graúdo (%)	32,50	32,50
Porcentagem de agregado médio (%)	61,50	61,50
Porcentagem passante da peneira 200 (%)	6,00	6,00
Porcentagem de Ligante Asfáltico (%)	5,70	5,20
Volume de Vazios (VV) (%)	3,72	3,77
Vazios do Agregado Mineral (VAM) (%)	18,80	17,68
Relação Betume/Vazios (RBV) (%)	78,50	76,00
Estabilidade Marshall (kgf)	1840,00	2100,00
Resistência a tração (MPa)	1,69	1,51

Fonte: Fernando de Souza (2015)

Foram observados que os valores de RBV e VAM das misturas asfálticas com agregados da jazida Cedro apresentaram índices maiores, representando cerca de 3% e 5,8% a mais em relação a jazida Confer, respectivamente.

Maiores diferenças foram encontradas nos ensaios de Estabilidade Marshall onde observou-se um aumento na carga de ruptura de cerca de 12,4 % a mais para os

valores da jazida, Confer. A hipótese levantada para o resultado, pode ser atribuída a granulometria do material passante da peneira 200 desta jazida apresentar partículas menores que as encontradas pelos agregados produzidos pela jazida Cedro, o que pode ter alterado as propriedades do ligante asfáltico fazendo enrijecer o mástico e aumentando a consistência do ligante asfáltico apresentando uma mistura mais estável.

Mas outro ponto levantado pelos ensaios desta pesquisa, foram que apesar das misturas asfálticas com agregados da Confer, apresentarem um carregamento maior para ruptura nos ensaios de estabilidade, o mesmo não aconteceu no ensaio de RT, apresentando uma diferença de 180 Kpa a menos que os apresentados pela jazida Cedro, isto representa entre os valores, uma diferença de 10,6%, podendo ser conferida ao maior consumo de cimento asfáltico apresentada por ela o que pode conferir melhorias como um aumento da coesão das partículas e de impermeabilidade da mistura asfáltica sem que houvesse um excesso do mesmo, pois o consumo a mais de ligante pode atribuir melhorias nas propriedades relacionados a resistência a fadiga, mas podem também apresentar, maiores deformações permanentes comparadas com aquelas que possuem menos em sua composição. (BARDINI, 2013).

5. CONCLUSÕES

Ao avaliar os resultados obtidos com a caracterização dos materiais e pelas dosagens feitas através da metodologia Marshall, verificou-se que ambas as misturas asfálticas, apresentam características satisfatórias para o uso na pavimentação de acordo com as especificações brasileiras.

Através da caracterização dos materiais, foram feitas as seguintes considerações referentes aos resultados obtidos no laboratório:

- A granulometria dos agregados da jazida Confer possui nas porcentagens passantes das peneiras, valores superiores aos da jazida Cedro para os agregados graúdo e miúdo, indicando tamanhos menores entre eles, que pode ser atribuído aos processos de fabricação.
- Ambos agregados grossos foram classificados com forma cúbica.

- A granulometria do material passante na peneira 200, apresentou porcentagens maiores para diâmetros menores que 20 μm , para os produzidos pela jazida Confer, os quais podem incorporar-se ao ligante asfáltico enrijecendo o mástique.
- As taxas de absorção e desgaste no ensaio de Abrasão Los Angeles, apresentaram-se maiores para a jazida Cedro, diferença que pode ser conferida as características da rocha de origem.

Nos ensaios de dosagem realizados pela metodologia Marshall, foram feitas as seguintes observações através dos resultados:

- Uma diminuição no consumo de ligante para misturas da jazida Confer para um mesmo teor de vazios. Este acontecimento pode estar ligado a dois fatores. Um deles pode estar relacionado a diferença na taxa de absorção encontrada nos ensaios de caracterização dos materiais entre as duas jazidas. O outro item seria que, as misturas dos agregados produzidos por esta jazida, apresentaram porcentagem de VAM menores nas dosagens Marshall para um mesmo volume de vazios em comparação com os da jazida Cedro.
- Valores de estabilidade Marshall foram superiores para as misturas obtidas com teor ótimo de ligante para a jazida Confer, em relação as obtidas nos ensaios da jazida Cedro, podendo ser atribuída ao fator relacionado com a granulometria do material passante na peneira 200, que enrijece o mástique, proporcionando um aumento na consistência do ligante asfáltico e na camada de cobertura do agregado. Estas características, podem conferir uma maior durabilidade a períodos longos de imersão a água e maior estabilidade das misturas asfálticas como expostos por Craus *et. al.* (1978).
- Ao contrário da Estabilidade Marshall, os valores de RT foram superiores para a jazida Cedro podendo ser atribuído a um consumo maior de ligante asfáltico adicionado a mistura asfáltica feita com os agregados produzidos por esta jazida.

Visto as particularidades apresentadas pelos agregados, foram observados que suas características físicas e granulométricas, podem influenciar no

consumo de ligante asfáltico e conseqüentemente nas propriedades mecânicas das misturas asfálticas.

6. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

- Comparar misturas asfálticas com agregados de outras regiões;
- Avaliar a resistência à tração de ambas as misturas avaliadas com o mesmo teor de ligante.

7. REFERÊNCIAS

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B., **Pavimentação Asfáltica – Formação Básica para Engenheiros**. Petrobras Asfaltos, ABEDA, Rio de Janeiro, 2008 e 2010.

GOUVEIA, L. T. **Contribuições ao Estudo da Influência de Propriedades de Agregados no Comportamento de Misturas Asfálticas Densas**. Dissertação. São Carlos, 2006.

ZANELLA, R. A. R.; **Análise da influência da forma do agregado nos parâmetros de dosagem da mistura asfáltica e na deformação permanente**. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2013.

CURTIS, C. W., **“Investigation of Asphalt-Aggregate Interactions in Asphalt Pavements”**, Chemical Eng Dept, Auburn University, 1999.

Gouveia, L.T.; Fernandes Jr., J.L. - **Limitações do ensaio de angularidade do agregado fino para previsão do comportamento de misturas asfálticas**. Artigo científico – Anais do Congresso ANPET. 2002.

Gouveia, L. T.; **Avaliação do Ensaio de Angularidade do Agregado Fino (FAA) da Especificação Superpave**. Dissertação – Departamento de Transportes - Escola de Engenharia de São Carlos – USP – 2002.

Pazos, A.G; SACRAMENTO, F.T.; MOTTA, L.M.G. - **Efeitos de propriedades morfológicas de agregados no comportamento mecânico de misturas** – Artigo científico - 44ª RAPV – Reunião Anual de Pavimentação e 18º ENACOR – Encontro Nacional de Conservação Rodoviária ISSN 1807-5568 RAPV Foz do Iguaçu, PR – 2015

BARDINI, V. S. S. **Influência do fíler mineral em propriedades de misturas asfálticas densas**. 344 p. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transporte. 2013. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2013.

CRAUS, J.; ISHIAI, I.; SIDES A. **Guidelines for use of dust in hot-mix asphalt concrete mixtures**. Proceedings of Asphalt Association of Paving Technologists, v. 56, p. 492-516, 1978.

CAVALCANTI, M. M.; SILVA, R. S.; CERATI, J. A. P. BRITO, L.T. - **Influência do índice de forma na resistência de uma mistura asfáltica padrão**. Artigo científico – Congresso CRICTE. XXVI Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia – CRICTE - 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6293/2001**: Materiais betuminosos - Determinação da ductilidade. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 6560/2008**: Materiais betuminosos - Determinação do ponto de amolecimento - Método do anel e bola. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 6576/2007**: Materiais asfálticos - Determinação da penetração. Rio de Janeiro, 2000.

_____. **NBR 11341/2014**: Derivados de petróleo - Determinação dos pontos de fulgor e de combustão em vaso aberto Cleveland. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 14950/2003**: Materiais betuminosos - Determinação da viscosidade Saybolt Furol. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 14855/2002**: Materiais betuminosos - Determinação da solubilidade em tricloroetileno. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR 115184/2005**: Materiais betuminosos - Determinação da viscosidade em temperaturas elevadas usando um viscosímetro rotacional. Rio de Janeiro, 2005.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 043/95**: Misturas betuminosas a quente – ensaio Marshall. Rio de Janeiro, 1995.

_____. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 081/98**: Agregados - determinação da absorção e da densidade do agregado graúdo. Rio de Janeiro, 1998.

_____. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 083/98**: Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1998.

_____. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 084/95**: Agregado miúdo – determinação da densidade real. Rio de Janeiro, 1995.

_____. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 085/94**: Material finamente pulverizado – determinação da massa específica real. Rio de Janeiro, 1994.

_____. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 204/95**: Cimentos asfálticos de petróleo. Rio de Janeiro, 1995.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNIT 136/2010-ME**: Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2010.

_____. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Norma **DNER-ME 086/94**; Determinação do Índice de forma. Rio de Janeiro, 1994.